МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 621.7.073+621.73.043 EDN: NEAIUM

[1,*]Братцев В. Г., [1]Поданёва В. К., [2]Хлебников А. С.
[1]Донбасский государственный технический университет,
[2]Завод Прогресс 2000
**E-mail: somp@dontu.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ШТАМПОВ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ

В работе рассмотрен способ оценки состояния штампов горячей штамповки и прогнозирования их стойкости по фотографиям штамповочного ручья, анализируемым в нейросети. Обоснован выбор трещин разгара в качестве основного диагностического признака оценки состояния штампа, динамики процесса трещинообразования и прогноза стойкости. Предложены параметры количественной оценки термоциклических трещин. Приведены примеры применения способа на практике.

Ключевые слова: *штамп, ручей, трещина, разгара, термоциклическая, износ, наплавка, оценка, состояние, стойкость, фотография, нейросеть, анализ, удельная, средняя, длина, площадь.*

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Ремонт наплавкой штампов горячей штамповки повышает стойкость и сокращает затраты на новую оснастку. Наплавленный слой, как правило, превосходит основу по теплостойкости, износостойкости за счет наличия карбидов легирующих элементов. Вместе с тем увеличивается риск образования трещин разгара, которые становятся одной из основных причин отказов [1, 2].

Ускоренное развитие термоциклических трещин в наплавленном слое вызвано следующими факторами:

1. Образованием знакопеременного поля остаточных напряжений [3]: растягивающих в наплавленном слое, сжимающих в основном металле, сложнонапряженного состояния в переходной зоне.

2. Резким скачком напряжений на границе между основным и наплавленным металлом [4, 5], что вызывает образование микротрещин в пограничных слоях, снижает сопротивление термоусталости и способствует развитию сетки разгара.

3. Термическими напряжениями, возникающими в процессе циклов «нагрев — охлаждение» при штамповке [1]. Термические напряжения суммируются с остаточными после наплавки, что ускоряет зарождение трещин разгара, развитие трещин на границе между основным и наплавленным металлом, вплоть до выкрашивания наплавленного слоя.

Для снижения негативных эффектов применяют нагрев, перед и во время наплавки, послойную наплавку с промежуточным отпуском, термоциклическую обработку. В процессе эксплуатации следят за соблюдением температурного режима, охлаждения, смазки штампов, своевременно выполняют зачистку дефектов. Таким образом, образование термоциклических трещин напрямую связано с напряженным состоянием, структурой металла, и опосредовано с технологическим процессом, и технологической дисциплиной.

Для оценки состояния штампов, планирования остановок для текущих ремонтов, прогнозирования стойкости необходим способ оперативной диагностики, позволяющий получить достоверные количественные результаты. Применяемые в отраслевой практике и рекомендуемые в нормативах инструментальные методы обнаружения и измерения дефектов (ультразвуковой, магнитопорошковый, с помощью щупов или профилографа) требуют дорогостоящего инструмента, снятия штампа с пресса, значительных затрат

времени. Применение капиллярного метода для обнаружения микротрещин осложнено загрязнениями, требует тщательной очистки и обезжиривания. Лучше всего для оперативного контроля состояния подходит визуальный метод, но он не дает точной количественной оценки, не позволяет сохранить результаты для анализа динамики процесса, зависит от опыта работника. Фотографирование и программная обработка изображений сочетает простоту визуальной оценки с информативностью инструментальных методов, такой вариант может стать полноценным способом оперативного контроля и прогнозирования состояния штампов на прессе.

Постановка задачи. Учитывая доминирующую роль трещин разгара в процессе разрушения поверхности рабочего ручья штампа, требуется выделить параметры оценки термоциклических трещин, связанные с количеством выполненных штамповок. Необходимо установить зависимости между выбранными параметрами и предельным состоянием штампа. Требуется предложить способ оперативного контроля выбранных параметров и анализа результатов, доступный цеховому персоналу, обеспечивающий приемлемую достоверность.

Таким образом, ***целью*** работы является разработка методики оперативной оценки состояния штампов горячей штамповки по фотографиям.

Объект исследования — процесс образования трещин разгара в наплавленном слое.

Предмет исследования — динамика изменения параметров трещин разгара и ее влияние на состояние штампа.

Задачи исследования:

– обосновать выбор трещин разгара в качестве основного признака оценки состояния штампа;

– выбрать параметры, характеризующие трещины разгара и динамику их развития, пригодные для анализа по фотографии;

– разработать алгоритм оценки состояния штампа в нейросети по фотографиям на основе анализа параметров трещин разгара;

– выявить зависимости между параметрами трещин разгара и предельным состоянием штампа, стойкостью, проверить полученные зависимости на практике.

Для **обоснования** выбора признака оценки состояния штампов рассмотрим причины вывода их из эксплуатации (отказов):

1. Термоусталостные трещины и сетка разгара приводят к выкрашиванию и разрушению поверхности ручьев. Наличие трещин способствует залипанию штампованных поковок в ручье, перегреву поверхности, что ускоряет износ. Трещины копируются на поковку в виде выступов, что может быть недопустимо по требованиям к необрабатываемым поверхностям.

2. Износ, смятие, пластическая деформация ручьев и плоскости разъема являются причинами остальных отказов [1].

По результатам эксплуатации восстановленных наплавкой штампов на прессовом участке ООО «Завод Прогресс 2000» установлено, что трещины разгара являются основной причиной текущего ремонта штампов в период времени, составляющий 50–70 % от стойкости. Далее усиливается влияние износа. Ввиду высокой твердости наплавленного слоя локальное смятие наблюдается на кромках с малыми радиусами и не является причиной вывода штампов из эксплуатации.

Помимо перечисленного выбор трещин разгара обусловлен:

– закономерностью, предсказуемостью;

– информативностью;

– простотой и скоростью диагностики;

– экономической, эксплуатационной целесообразностью и безопасностью.

Термоусталостные трещины возникают закономерно после определенного числа циклов работы. Развиваются от единичных трещин до сетки в соответствии с определенными зависимостями.

По сравнению с износом, задирами и смятием трещины несут больший объем диагностической информации. По количеству, протяженности, взаимному пересечению, раскрытию трещин можно судить об остав-

шемся ресурсе штампа. Время возникновения и скорость развития трещин указывают на температурный режим работы [6]. Чем выше нагрев, тем быстрее появляются трещины и тем гуще сетка разгара. При эффективном охлаждении трещины мельче, а применение смазки снижает скорость развития в несколько раз [7]. Нарушения в технологии наплавки способствуют концентрации трещин на границе с основным металлом. Значительные растягивающие остаточные напряжения в наплавленном металле становятся причиной более раннего и интенсивного трещинообразования.

Трещины быстро выявляются и оцениваются в ходе визуального осмотра без снятия штампа. Тогда как для контроля износа, структуры, твердости применяются инструментальные методы, требующие снятия штампа с пресса.

Контроль текущего состояния трещин и динамики их развития позволяет прогнозировать стойкость штампа, планировать остановку для замены дублером или ремонта. Своевременный ремонт, до увеличения глубины трещин свыше 3–5 мм, позволяет провести восстановительную наплавку без фрезерования дефектного слоя и повторной обработки ручья. Таким образом сохраняется запас по высоте для последующих ремонтов, что увеличивает общую стойкость штампа и снижает затраты на новую оснастку. Оценка предельного состояния по сетке разгара позволяет избежать аварийных простоев из-за разрушения ручья, а в худшем случае — заклинивания пресса. Залипание, выкрашивание — потенциально травмоопасные ситуации. Перечисленные причины подтверждают экономическую и эксплуатационную значимость контроля трещинообразования, а также важность для обеспечения безопасной работы.

Параметры контроля. По отраслевому опыту для принятия решения о дальнейшей эксплуатации, ремонте или отбраковке контролируются следующие параметры:

– плотность сетки разгара;

– ширина раскрытия трещин;

– глубина трещин;

– длина одиночных трещин;

– количество трещин на 1 дм^2;

– локализация очагов сетки разгара.

Допустимые значения отличаются в зависимости от точности штампа и места расположения дефекта. В нагруженных зонах допуски ужесточаются, к примеру, для галтелей — в 2 раза, для знаков — в 1,5 раза.

В профильной литературе есть указания по контролю суммарной длины трещин на единицу площади (мм/дм^2), размера сетки разгара, сопутствующих дефектов, к которым относятся: износ рабочей поверхности, наволакивание металла, разгарные раковины, твердость поверхности менее 38HRC, шероховатость — более Ra2,5 мкм. Обобщенный алгоритм проверки отображен на рисунке 1.

Контроль параметров трещин осуществляется визуально-оптическим и визуально-измерительным методом. Для этого используются микроскоп с увеличением 50–100×, лупа с измерительной шкалой, наборы щупов, штангенциркули. Плотность сетки определяется сравнением с эталонными образцами. Количество трещин подсчитывается через прозрачный шаблон-сетку, накладываемый на контролируемый участок поверхности. Глубина залегания трещин определяется прямыми и косвенными (капиллярным, ультразвуковым, магнитопорошковым) методами.

Выполнение приведенного алгоритма контроля требует снятия штампа с пресса, поэтому рассмотрим параметры, которые, при определенных условиях, могут быть определены по фотографии штампа на прессе:

– плотность сетки разгара;

– ширина раскрытия трещин;

– размер ячейки сетки разгара;

– длина одиночной трещины (макс.);

– количество трещин на единицу площади;

– суммарная длина трещин на единицу площади;

– локализация очагов сетки разгара.

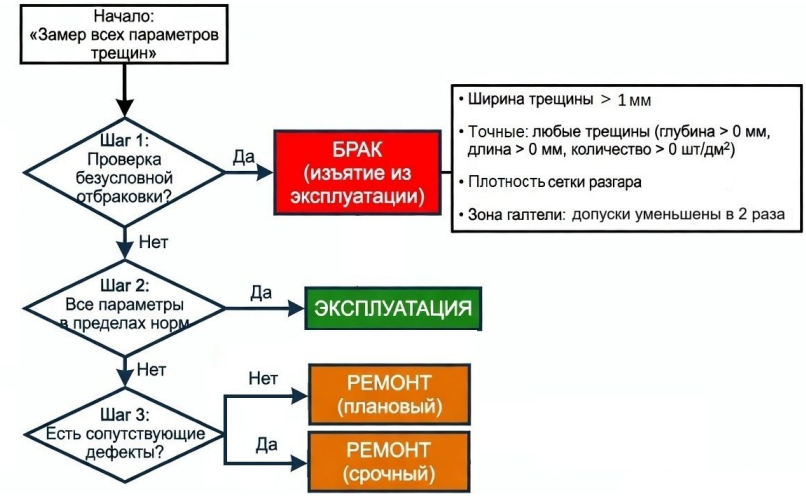


Рисунок 1 — Обобщенный алгоритм проверки штампа

Определение перечисленных параметров по фотографии требует высокого разрешения, отсутствия перспективных искажений, наличия масштабных маркеров или элементов гравюры, по которым удобно определять коэффициент масштаба.

При съемке на прессе участки могут быть не видны с одного ракурса, повторяемость которого сложно обеспечить без использования штатива. Четкость изображения, получаемого с камеры телефона, недостаточна для точного определения ширины трещин. Неизбежны ошибки в определении размеров трещин по масштабным маркерам или элементам.

Чтобы уменьшить погрешности, предлагаем отказаться от определения истинных размеров, перейдя к работе с проекциями. Такое упрощение обосновано при съемке и сравнении одних и тех же участков штампа в течение периода эксплуатации. Вероятно, измерение проекций трещин позволит оценить текущее состояние и скорость процесса трещинообразования. При наличии анализа фотографий идентичного штампа за весь период эксплуатации, вероятно, можно прогнозировать стойкость контролируемого. С развитием сетки разгара количество трещин увеличивается, а длина уменьшается, предположительно средняя длина проекций трещин характеризует стадию трещинообразования и износа. Плотность сетки разгара определяется количеством и суммарной длиной проекций трещин на единицу проекции площади.

Таким образом, основные требования к фотографиям: повторяемость ракурса, наличие масштабных маркеров или элементов гравюры. В качестве контролируемых параметров на участке принимаем:

– количество трещин разгара;

– суммарную длину проекций трещин;

– среднюю длину проекции трещины;

– удельное количество трещин на единицу проекции площади;

– удельную длину проекций трещин на единицу проекции площади.

Методика. Исследование образования термоциклических трещин проводили на матрицах чеканочного штампа подвески триангеля, эксплуатируемых на прессовом участке ООО «Завод Прогресс 2000». Чеканка выполняется на кривошипно-коленном чеканочном прессе КБ 8336 усилием 4000 кН. На рисунке 2 представлены заготовки до и после штамповки.

Заготовки (Ст3) в зоне штамповки нагреваются партиями в газовом прямоточном горне с инжекционной горелкой. Матрицы чеканочного штампа (рис. 3) изготовлены из стали 5ХНМ, радиусные участки штамповочных ручьев после ремонта наплавлены электродами ОЗШ-3.



Заготовки перед чеканкой ребер жесткости Заготовка после чеканки

Рисунок 2 — Заготовки до и после штамповки



Рисунок 3 — Матрицы чеканочного штампа, восстановленные наплавкой

Химический состав наплавленного металла по данным изготовителя ООО «СЗСМ» приведен в таблице 1.

Химический состав наплавленного слоя матриц, выведенных из эксплуатации из-за износа и трещин, по итогам анализа рентгенофлуоресцентным спектрометром TrueXEnergy приведен в таблице 2.

Пониженное содержание хрома в таблице 2, по сравнению с данными изготовителя, может быть связано с перемешиванием наплавленного металла с основным, влиянием повторной наплавки (третий ремонт наплавкой), износом поверхности ручьев. Твердость поверхности после наплавки 54–58 HRC. В ходе эксплуатации вследствие отпуска твердость поверхности ручьев снижается до 42–54 HRC, меньшие значения в зонах максимального износа при достижении предельного состояния.

Таблица 1

Химический состав металла, наплавленного электродами Э-37Х9С2 ОЗШ-3

Химический элемент	Массовая доля элементов, %
Углерод, C	0,30–0,50
Хром, Cr	8,00–11,00
Марганец, Mn	0,40–1,00
Фосфор, P	≤ 0,03
Сера, S	≤ 0,02
Кремний, Si	1,40–2,80

Таблица 2

Химический состав наплавленного слоя по результатам анализа

Химический элемент	Средняя массовая доля элементов, %
Молибден, Mo	0,212
Хром, Cr	2,123
Никель, Ni	0,805
Марганец, Mn	0,540
Фосфор, P	0,146
Сера, S	–
Кремний, Si	1,046
Медь, Cu	0,183

Примечание: погрешности измерения могут быть вызваны частичным перекрытием пиков химических элементов с близкими энергиями флуоресценции.

Для оценки состояния выбрана нижняя матрица как наиболее термически нагруженная. Трещины разгара фиксировались в зоне штамповки правого ребра жесткости, на участке: галтельное сопряжение с дном ручья (R8), вертикальная стенка ручья, галтельное сопряжение (R8) с плоским углублением, плоское углубление. Фото выполнялись после 300, 600, 1100, 1400, 1800, 2300, 3600, 5400, 6800 (фактическая стойкость) штамповок.

Фотографии загружались в ChatGPT 5.5, задавался следующий алгоритм анализа:

1. Указывали размеры масштабных элементов (для рассматриваемых матриц: общая длина и ширина; глубина углубления под ребро жесткости, диаметр крепежных отверстий, глубина ручья).

2. Указывали зону анализа: описанием и выделением сплайном в графическом редакторе (только на первой фотографии).

3. Задавали критерии учета трещин.

Вертикальные трещины образуются первыми, поэтому они выбраны базовыми для отслеживания изменений. Ответвления от первоначальной трещины учитывали как новые трещины. Горизонтальные трещины, образовавшиеся до интенсивного развития сетки разгара, учитывались каждая в отдельности. При развитии сетки разгара, если невозможно определить, является ли трещина продолжением существующей, все новые короткие горизонтальные, наклонные ответвления учитывались как новые трещины. Не учитывались: одиночные риски, неизвестной природы, следы обработки, следы износа. Отфильтровывались блики, загрязнения, границы окисленных зон.

Формулы расчета контролируемых параметров сведены в таблицу 3.

Для оценки динамики трещинообразования рассчитываются: прирост количества трещин (Δn), прирост суммарной длины проекций трещин ($\Delta L_{сум}$), изменение средней длины проекции трещины ($\Delta L_{ср}$) между этапами контроля.

Скорость появления трещин kn:

$$kn = \frac{\Delta n}{\Delta Q}, \qquad (1)$$

где ΔQ — прирост количества штамповок.

Таблица 3

Формулы расчета контролируемых параметров

Контролируемый параметр	Расчетная формула
Суммарная длина проекций трещин	$L_{сум} = l_1 + l_2 + l_3 + ... + l_n$
Средняя длина проекции трещины	$L_{ср} = \frac{L_{сум}}{n}$
Удельное количество трещин на единицу проекции площади	$n_{уд} = \frac{n}{S_{пр}}$
Удельная длина проекций трещин на единицу проекции площади	$l_{уд} = \frac{L_{сум}}{S_{пр}}$

Скорость роста суммарной длины проекций трещин kL:

$$kL = \frac{\Delta L_{сум}}{\Delta Q}. \qquad (2)$$

Качественный **анализ состояния** матриц по фотографиям за период стойкости представлен в таблице 4.

Таблица 4

Качественный анализ состояния матриц за период стойкости

Количество штамповок Q, шт.	Обозначение этапа
300	Начальная стадия повреждения поверхности
600	Развитие начальных трещин
1100	Начало формирования сетки разгара
1400	Развитие сетки разгара
1800	Интенсивное развитие трещин
2300	Развитая сетка разгара
3600	Развитая сетка с множеством мелких трещин
5400	Предкритическое состояние поверхности
6800	Критическое состояние (предельный износ)

Для иллюстрации качественной оценки состояния матриц на рисунке 4 приведены фотографии рассматриваемого участка после 600, 1800, 2300, 6800 штамповок.

Для количественного анализа в качестве предельного (критического) состояния принято состояние матриц после $Q = 6800$ штамповок. Итоговая оценка выполнялась по комплексному показателю износа W (термин «износ» здесь означает выработку ресурса по стойкости, а не абразивный или адгезионный износ поверхности). Для 0 штамповок $W = 0$, для 6800 — $W = 1$. Зависимость W от контролируемых параметров можно представить в виде

$$W = 0,5\frac{l_{уд}}{l_{уд.кр}} + 0,3\frac{L_{сум}}{L_{уд.кр}} + 0,2\frac{n}{n_{кр}}, \qquad (3)$$

где индекс «кр» обозначает параметры, соответствующие предельному состоянию матрицы. Коэффициенты 0,5, 0,3, 0,2 — определяют вклад каждого из параметров, предложены по результатам количественного анализа (табл. 5, рис. 5).

Зависимости контролируемых параметров трещинообразования от количества выполненных штамповок отображены на графиках (рис. 5).

Изменение средней длины проекций трещин в ходе эксплуатации штампа подтверждает сделанное предположение о взаимосвязи со стадией износа. В начале эксплуатации (Q = 300–600) формируются первичные трещины (рис. 4), средняя длина проекций $L_{ср}$ увеличивается от 2,83 до 3,67 мм. В стадии формирования и развития сетки разгара (Q = 600–3600) происходит удлинение и соединение между собой трещин, $L_{ср}$ плавно растет до пикового значения 4,20 мм. В стадии интенсивного ветвления трещин (Q = 3600–6800) средняя длина уменьшается до 3,81 м с одновременным ростом количества мелких вторичных трещин, формирующих густую замкнутую сетку разгара (рис. 4).

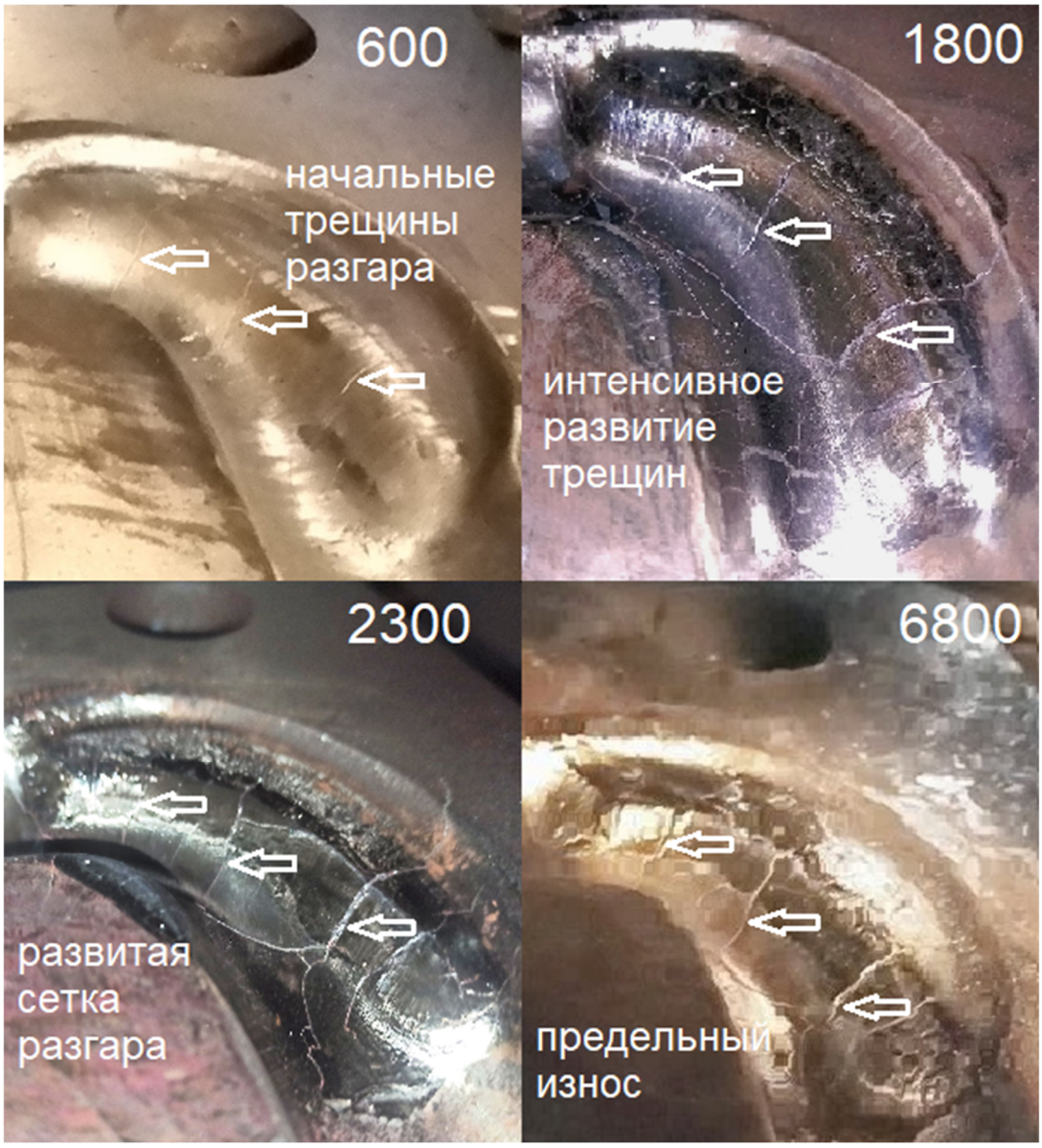


Рисунок 4 — Состояние рассматриваемого участка после 600, 1800, 2300, 6800 штамповок

Таблица 5

Количественный анализ состояния матриц за период стойкости

Q, шт	n, шт	$L_{сум}$, мм	$L_{ср}$, мм	$n_{уд}$, шт/мм^2	$l_{уд}$, мм/мм^2	W
300	3	8,5	2,83	0,006	0,017	0,057
600	6	22	3,67	0,012	0,044	0,139
1100	9	35	3,89	0,018	0,070	0,218
1400	11	44	4,00	0,022	0,088	0,273
1800	14	56	4,00	0,028	0,112	0,347
2300	18	75	4,17	0,036	0,150	0,461
3600	25	105	4,20	0,050	0,210	0,644
5400	34	135	3,97	0,068	0,270	0,837
6800	42	160	3,81	0,084	0,320	1,000

Примечание: площадь проекции рассматриваемого участка 500 мм^2.

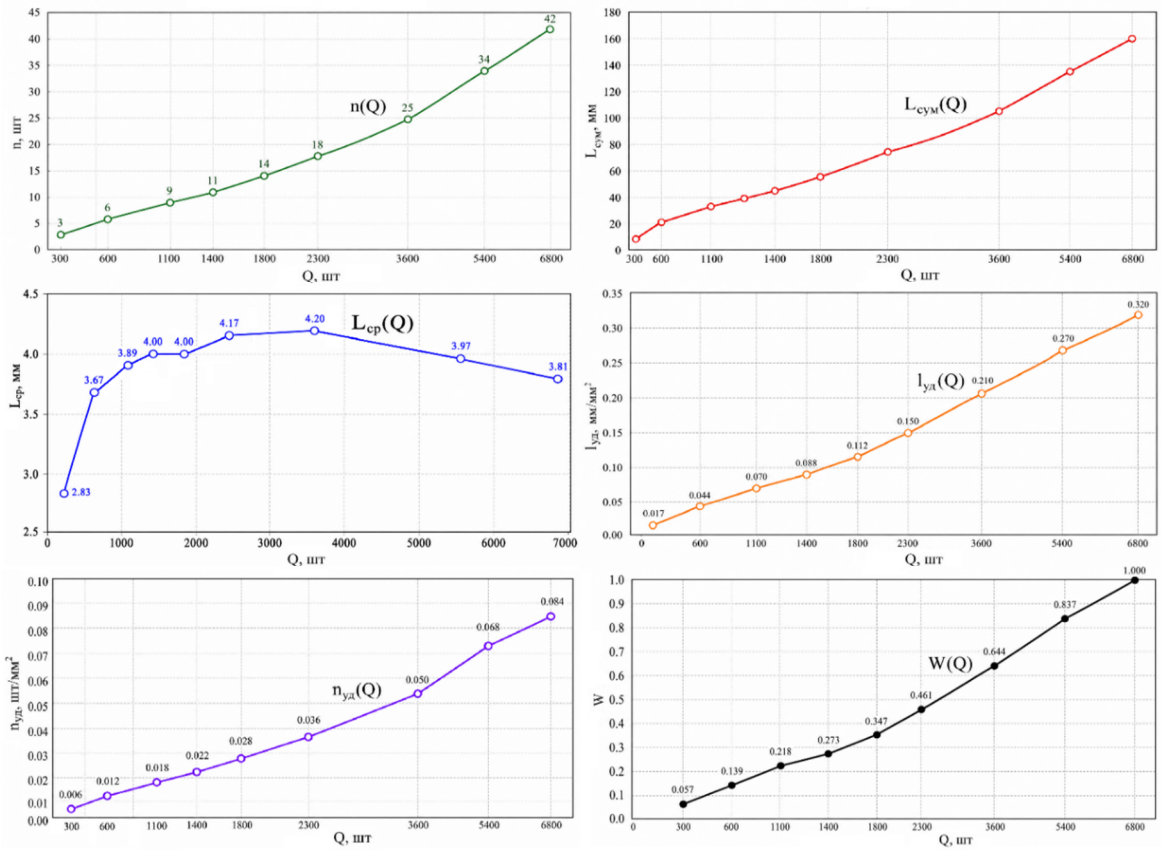


Рисунок 5 — Зависимости параметров трещинообразования от количества штамповок

Показатель W растет практически линейно во всём диапазоне. Переход в зону интенсивного (предкритического) износа происходит на рубеже 5000 штамповок. По итогам анализа зависимостей получены формулы (табл. 6) для прогнозирования состояния матриц по фотографиям выбранного участка.

Для рассматриваемого штампа расчетная стойкость по комплексному показателю W составляет 6275 штамповок. Для проверки полученных зависимостей с помощью нейросети были проанализированы фотографии идентичных матриц (рис. 6), восстановленных наплавкой электродами ОЗШ-3, с известным количеством штамповок.

Таблица 6

Формулы прогнозирования состояния матриц

Параметр	Прогнозная формула	R^2
Количество трещин	$n_{пр} = 0,00627Q - 0,56$	0,99
Суммарная длина проекций трещин	$L_{сум.пр} = 0,0241Q + 0,31$	0,99
Удельная длина проекций трещин, мм/мм^2	$l_{уд} = 0,0000482Q + 0,00062$	0,99
Комплексный показатель износа	$W_{пр} = 0,000153Q + 0,04$	0,99

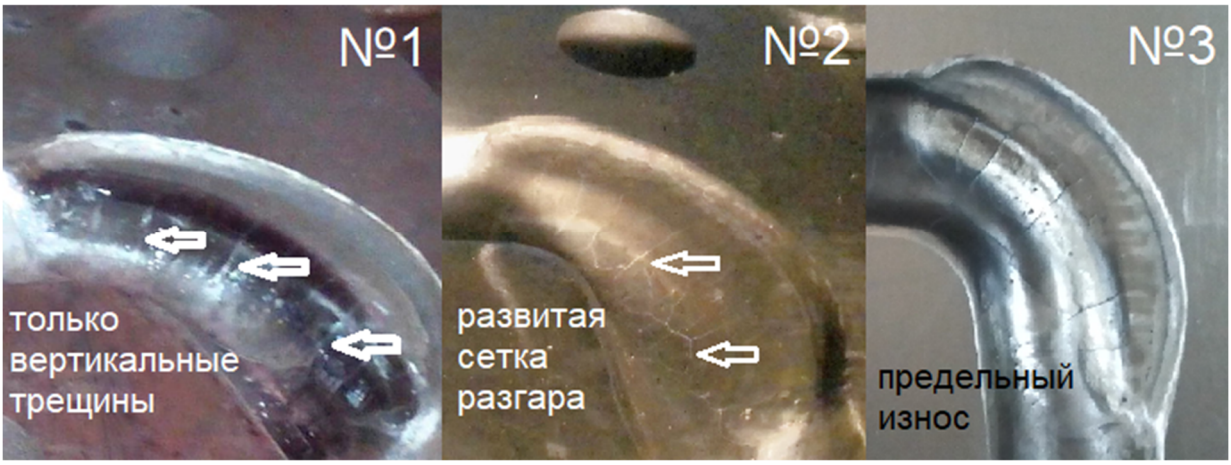


Рисунок 6 — Идентичные матрицы

Таблица 7

Сравнение расчетных и фактических показателей наработки

Параметр	Матрица № 1	Матрица № 2	Матрица № 3
Расчетная наработка $Q_{пр}$, шт.	~2100	~3800	~6400
Комплексный износ W	0,32	0,57	0,96
Фактическая наработка $Q_ф$, шт.	~2000	~4000	~7000
Разница, %	5 %	5 %	8,6 %

Результаты сравнения данных, представленные в таблице 7, свидетельствуют о высокой сходимости прогнозных значений наработки с фактическими.

Выводы:

1. Предложены параметры и алгоритм оценки состояния штампов горячей штамповки по фотографиям с помощью нейросети.

2. Предложена оценка состояния штампов по комплексному показателю износа.

3. Установленные математические зависимости для наработки проверены на практике, получена высокая сходимость расчетов с фактическими результатами.

4. Разработанная методика позволяет оперативно оценить состояние ручьев и динамику износа, прогнозировать стойкость, планировать ремонт и замену штампов. Анализ фотографий за период эксплуатации может быть полезным для определения технологических нарушений при штамповке, проблем с качеством термообработки и наплавки штампов.

5. Для проверки методики необходимы дополнительные наблюдения за динамикой трещинообразования различных штампов горячей штамповки. Выдвинутые предположения требуют проверки для штампов без наплавки из разных инстру-

ментальных сталей, а также восстановленных наплавкой разными марками электродов. Необходимо установить влияние отличий в структуре, твердости, балле зерна на полученные математические зависимости для одинаковых штампов.

Список источников

1. The failure mechanisms of hot forging dies / Z. Gronostajski [et al.] // Materials Science and Engineering A. 2016. Vol. 657. P. 147–160. DOI: 10.1016/j.msea.2016.01.030

2. Бартенев Д. В. Разработка наплавочного сплава и технологии упрочнения и ремонта штампов горячего деформирования : дис. ... канд. техн. наук. Курск, 2008. 138 с.

3. Residual stress in welded joints — formation, distribution and impact on fatigue life [Electronic resource] // Weldfab World : [website]. [2026]. URL: https://www.weldfabworld.com/residual-stress-in-welded-joints/ (date of treatment: 31.08.2026).

4. Бабинец А. А. Методика оценки термической стойкости многослойного наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 49–53. EDN UYRIKZ

5. Структурная неоднородность в зоне термического влияния при сварке (наплавке) / Б. И. Носовский, С. В. Гулаков, М. Б. Носовский, И. С. Псарёва // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2006. № 16. С. 1–5.

6. Томило А. П. Температурный режим штампов горячей штамповки : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск : БПИ, 1965. 16 с.

7. Петров А. Н. Петров П. А., Петров М. А. Теория обработки металлов давлением: штампы, износ и смазочные материалы : учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М. : Юрайт, 2025. 127 с.

© Братцев В. Г., Поданёва В. К., 2026
© Хлебников А. С., 2026

Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. МТ ДонГТУ Куберским С. В., директором ООО «Завод Прогресс 2000» Самгиным А. О.

Статья поступила в редакцию 05.08.2026.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Братцев Виталий Геннадьевич, *зам. директора ИЦ СОМП, УПНИ*
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия, e-mail: somp@dontu.ru

Поданёва Виктория Константиновна, *инженер ИЦ СОМП, УПНИ*
Донбасский государственный технический университет,
г. Алчевск, Россия

Хлебников Алексей Славентьевич, *главный инженер*
Завод Прогресс 2000
г. Алчевск, Россия

Bratsev V. G., Podanyova V. K.** *(Donbass State Technical University, Alchevsk, Russia, *e-mail: somp@dontu.ru), Khlebnikov A. S.** *(Zavod Progress 2000, Alchevsk, Russia)*

APPLYING A NEURAL NETWORK TO ASSESS THE CONDITION OF HOT STAMPING DIES

The paper considers a method for assessing the condition of hot stamping dies and predicting their service life based on stamping lane photos analyzed by a neural network. The choice of fire cracking as the primary indicator for assessing die condition, monitoring crack formation and service life prediction is justified. The parameters for the quantitative assessment of thermocyclic cracks are proposed. Examples of how the method is used in practice are given.

Key words: *die, lane, crack, burn-back, thermocyclic, wear, overlay welding, assessment, condition, service life, photo, neural network, analysis, specific, average, length, surface area.*

References

1. Gronostajski Z. [et al.]. The failure mechanisms of hot forging dies. Materials Science and Engineering A. 2016. Vol. 657. Pp. 147–160. DOI: 10.1016/j.msea.2016.01.030

2. Bartenev D. V. Development of a surfacing alloy and technology for hardening and repairing hot deformation dies : thesis … PhD in Engineering [Razrabotka naplavochnogo splava i tekhnologii uprochneniya i remonta shtampov goryachego deformirovaniya : dis. ... kand. tekhn. nauk]. Kursk. 2008. 138 p.

3. Residual stress in welded joints — formation, distribution and impact on fatigue life. Weldfab World. 2026. URL: https://www.weldfabworld.com/residual-stress-in-welded-joints/ (date of treatment: 31.08.2026).

4. Babinets A. A. Methodology for assessing the thermal stability of multilayer deposited metal [Metodika ocenki termicheskoj stojkosti mnogoslojnogo naplavlennogo metalla]. Avtomaticheskaya Svarka. 2015. No. 10. Pp. 49–53. EDN UYRIKZ

5. Nosovskij B. I., Gulakov S. V., Nosovskij M. B., Psaryova I. S. Structural heterogeneity in the heat-affected zone during welding (surfacing) [Strukturnaya neodnorodnost' v zone termicheskogo vliyaniya pri svarke (naplavke)]. Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2006. No. 16. Pp. 1–5.

6. Tomilo A. P. Temperature regime of hot stamping dies : synopsis of thesis… PhD in Engineering [Temperaturnyj rezhim shtampov goryachej shtampovki : avtoref. dis. ... kand.. tekhn. nauk]. Minsk : BPI. 1965. 16 p.

7. Petrov A. N. Petrov P. A., Petrov M. A. Theory of metal forming: dies, wear and lubricant s: a textbook for universities. 2nd ed., repr. and add. [Teoriya obrabotki metallov davleniem: shtampy, iznos i smazochnye materialy : uchebnik dlya vuzov. 2-e izd., ispr. i dop]. M. : Yurajt. 2025. 127 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Bratsev Vitaly Gennadievich, *Deputy Director of the Engineering Center of "Machine-tool design provision of mechanical facilities", Advanced Research Projects Agency*
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia, e-mail: somp@dontu.ru

Podanyova Viktoriya Konstantinovna, *Engineer of the Engineering Center of "Machine-tool design provision of mechanical facilities", Advanced Research Projects Agency*
Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia

Khlebnikov Aleksey Slaventievich, *Chief Engineer*
Zavod Progress 2000,
Alchevsk, Russia